



## **РІЖНЯК**

**Ренат Ярославович,**  
кандидат педагогічних наук,  
професор кафедри математики  
Кіровоградського державного  
педагогічного університету  
імені Володимира Винниченка  
(м. Кіровоград)

### **ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ РОЗПОДІЛЕНИХ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СЕРЕДОВИЩ (GRID-ІНФРАСТРУКТУРИ) ВИЩОЇ ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ**

*У статті досліджується розвиток інформатизації вищої школи України на початку XXI століття у контексті вивчення історії створення та розвитку розподілених програмно-апаратних комп'ютерних середовищ установ НАН України та вищих навчальних закладів України.*

*В статье исследуется развитие информатизации высшей школы Украины в начале XXI века в контексте изучения истории создания и развития распределенных программно-аппаратных компьютерных сред учреждений НАН Украины и высших учебных заведений Украины.*

*The article examines the development of informatization of Ukrainian high school in the early twenty-first century in the context of studying the history of the creation and development of distributed computer hardware and software environments of NAS institutions and institutions of higher education in Ukraine.*

Досить важливим аспектом вивчення історії інформатизації вищої освіти, що представляє сукупність взаємопов'язаних (організаційних, управлінських, науково-технічних, навчальних, виховних) процесів, які спрямовані на створення умов для задоволення інформаційних потреб усіх учасників навчально-виховного або науково-дослідного процесу та на забезпечення їх підготовки до повноцінної професійної діяльності і життя в інформаційному суспільстві, є дослідження еволюції становлення та розвитку розподілених програмно-апаратних комп'ютерних середовищ (з принципово новою

організацією обчислень та управління потоками завдань та даних) закладів вищої освіти та наукових установ України. Результати такого дослідження можуть пролити світло на більш загальні проблеми інформатизації вищої школи України – вивчення еволюції наукової думки про інформатизацію вищої школи України, встановлення основних закономірностей розвитку науки інформатики, а також апаратного та програмного забезпечення процесів інформатизації вищих навчальних закладів, вивчення стану розвитку інтегративних зв'язків між вищими навчальними закладами системи Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (МОНМС України) та наукових установ системи Національної Академії наук України (НАН України), їх здатності реалізовувати колективні високотехнологічні проекти. Попередні дослідження з історії інформатики та інформатизації в основному були присвячені періодам зародження та становлення науки інформатики, розвитку її технічних засобів. Серед таких досліджень слід назвати наукові праці щодо вивчення історії інформатики в СРСР та Україні – роботи Л.Г. Хоменка [1] (розвиток вітчизняної кібернетики та інформатики), І.В. Сергієнка [2] (становлення інформатики), Б.Н. Малиновського [3] (історія обчислювальної техніки), В.І. Онопрієнка та М.В. Онопрієнка [4], [5] (розвиток наукових шкіл з інформатики). Проте історія становлення та розвитку розподілених програмно-апаратних комп'ютерних середовищ (*Grid*-інфраструктури) закладів вищої освіти та наукових установ України систематично та ґрунтовно науковцями не досліджувалася.

У даній статті маємо за мету зробити огляд історії зародження ідей щодо створення обчислювальних мереж та дослідити історію реалізації та розвитку проектів функціонування розподілених програмно-апаратних комп'ютерних середовищ закладів освіти і науки України у другій половині ХХ століття – на початку ХХІ століття у контексті дослідження історії інформатизації вищої освіти на визначеному часовому проміжку. Досягнення мети дослідження буде проводитися шляхом розв'язання таких задач: а) визначення об'єктивної необхідності функціонування *Grid*-інфраструктури

*закладів освіти та науки України; б) аналіз та систематизація основних напрямків діяльності вищих навчальних закладів та наукових установ України, що були реалізовані чи реалізуються завдяки функціонуванню Grid-інфраструктури закладів освіти та науки України.*

Еволюція зародження ідей щодо створення в Україні телекомунікаційних мереж передачі даних та розподілених обчислювальних комп'ютерних середовищ бере свій початок у 60-х роках ХХ століття і пов'язана з іменем видатного ученого двадцятого століття, автора фундаментальних праць у галузі кібернетики, математики і обчислювальної техніки Віктора Михайловича Глушкова, яким у 1962 р. вперше була усвідомлена проблема ефективного використання обчислювальної техніки у народному господарстві країни [1], [3]. Під керівництвом В.М. Глушкова колективом спеціалістів був створений ескізний проект Державної мережі обчислювальних центрів (ДМОЦ). Передбачалося побудувати близько 100 головних і понад 10 тисяч районних центрів для безперервної обробки, аналізу економічної інформації і прийняття обґрунтованих рішень. Ця система могла в свій час йти поряд з аналогічними розробками у США на рівні розвитку того, що відомо зараз як Інтернет. Однак цей проект так і не був реалізований, оскільки він не знайшов відповідної підтримки у вищого керівництва країни. Крім цього проекту був ще один з ним пов'язаний – проект побудови Загальнодержавної автоматизованої системи збору й обробки інформації (ЗДАС), яка вважалася В.М. Глушковым головною справою його життя [1], [3]. По суті йшлося про створення науково-технічної бази керування економікою країни й організацію інформаційної індустрії, аналогічну тій, яка нині успішно функціонує у провідних країнах Заходу. Безсумнівно, В.М. Глушков розумів, що своїм задумом він кидає виклик звичним способам та правилам керування господарством країни. Тому вчений терпляче пояснював: ЗДАС – лише інструмент, у будь-якому разі, усе вирішуватимуть люди, відповідно до своїх посад, переконань та інших суто людських якостей. Але і цього разу величезна робота науковця була згорнута [8].

Лише в середині 70-х років Інститут кібернетики АН УРСР здійснив реальне наукове керівництво розробкою Республіканської автоматизованої системи (РАС УРСР), а також розробкою загальносистемних питань і математичного забезпечення ДМОЦ (Глушков В.М., Стогній А.А. та ін.) [6]. Спільно з рядом Московських організацій Інститут кібернетики проводив роботу з об'єднання в експериментальну мережу трьох обчислювальних центрів в Києві та Москві. В цей період було створено ряд технічних засобів, необхідних для організації зв'язку в мережі. Серед них – система передачі дискретної інформації (СПН) з підвищеними техніко-економічними параметрами (Лучук А.М. [7] та ін.). Значне місце в розробці ДМОЦ, за свідченнями самого В.М. Глушкова, займали Обчислювальні центри колективного користування, що використовували в якості центральної машини відповідно переобладнану ЕОМ БЕСМ-6, а в якості терміналів – або прості засоби (телетайпи або алфавітно-цифрові дисплеї), або «інтелектуальні» термінали на базі міні ЕОМ МИР-2 [6]. Виходячи з цих фактів, можемо стверджувати, що ідеї вітчизняного прообразу сучасних розподілених електронних обчислювальних мереж сягають 60–70-х років ХХ століття, починаючи з розробок В.М. Глушкова та його учнів.

Обчислювальні центри колективного користування були, фактично, прообразом майбутніх потужних високопродуктивних комп'ютерів зі значним обсягом внутрішньої та зовнішньої пам'яті, переважно багатопроцесорних, що називалися мейнфреймами (термін *mainframe* походить від двох англійських слів: *main* – основний або головний, *frame* – рамка, скелет тобто основа чого-небудь; спочатку під даним терміном розуміли металічну стійку, де знаходився центральний процесор; у подальшому під мейнфреймом почали розуміти великий (головний) комп'ютер (центральний сервер) в розвинених локальних обчислювальних мережах з великим числом периферійних комп'ютерів і терміналів (наприклад, локальні мережі великих організацій, фірм, навчальних закладів, міжнародні платіжні системи)). Розвиток мейнфреймів почався у 60-х роках ХХ століття з комп'ютерів корпорації ІВМ *System/360* (радянський

аналог подібних систем був представлений серією ЄС ЕОМ і почав випускатися у 1971 році [3]). На відміну від мейнфреймів, суперкомп'ютери – це машини, що знаходяться на піку доступних сьогодні обчислювальних потужностей, особливо в області операцій з числами. Вони використовуються для наукових та інженерних задач (високопродуктивні обчислення, наприклад, в області метеорології або моделювання ядерних процесів), де визначальними факторами є потужність процесора і обсяг оперативної пам'яті, тоді як мейнфрейми застосовуються для цілочисельних операцій, вимогливих до швидкості обміну даними, до надійності та до здатності одночасної обробки великої кількості процесів (обслуговування великих баз даних, або одночасна робота з великою кількістю споживачів). Продуктивність мейнфреймів, як правило, обчислюється в мільйонах операцій за секунду (*MIPS*), а суперкомп'ютерів – в операціях з плаваючою комою (крапкою) в секунду (*FLOPS*). У контексті загальної обчислювальної потужності мейнфрейми програють суперкомп'ютерам.

Ідея *Grid*-комп'ютингу (або використання *Grid*-структур) виникла в кінці 90-х років ХХ століття разом з поширенням персональних комп'ютерів, розвитком Інтернету і технологій пакетної передачі даних на основі оптичного волокна, а також технологій локальних мереж (*Gigabit Ethernet*) [9]. Смуга пропускання комунікаційних засобів стала достатньою, щоб при необхідності залучити ресурси інших комп'ютерів. Враховуючи, що безліч підключених до глобальної мережі комп'ютерів більшу частину робочого часу простоювала і мала ресурси більші, ніж необхідно для розв'язання їх повсякденних завдань, виникла можливість застосувати їх вільні ресурси в іншому місці. Основною перевагою таких розподілених обчислень є те, що окрема частина обчислювальної системи може бути представлена звичайним неспеціалізованим комп'ютером. Таким чином, можна отримати практично ті ж обчислювальні потужності, що і на звичайних суперкомп'ютерах (або мейнфреймах), але з набагато меншою вартістю. Таким чином, *Grid*-комп'ютинг можна визначити як оптимальну підготовку та організацію виконання безлічі різних завдань у

віртуальному полі різних комп'ютерних ресурсів (які й утворюють гігантський віртуальний комп'ютер), при цьому обчислювальні ресурси можуть бути і однопроцесорними [10].

Розглянемо еволюцію розвитку розподілених програмно-апаратних комп'ютерних середовищ (*Grid*-середовищ) закладів освіти і науки України у другій половині ХХ століття – на початку ХХІ століття. Зауважимо відразу, що еволюція згаданої *Grid*-структури проходила паралельно двома лініями – майже одночасно еволюціонували *Grid*-структури НАН України та МОНМС України.

Перший *Grid*-вузол НАН України в Україні був створений в 2002 році групою фізиків з Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» (ННЦ ХФТІ). Формально ННЦ ХФТІ належав до системи НАН України. Але обчислювальний кластер був побудований в рамках співпраці з Об'єднаним Інститутом Ядерних Досліджень (ОІЯД, Дубна, Росія) для спільного з ним участі в експерименті *CMS* (*Compact Muon Solenoid*) – одного з чотирьох великих експериментів, які планувалося на той час проводити в Європейському центрі ядерних досліджень – *CERN* (Женева, Швейцарія) в рамках запуску Великого андронного колайдера (*LHC* – *Large Hadron Collider*). Хоча цей *Grid*-вузол побудований в Україні та українськими вченими, по суті він був частиною російської *Grid*-структури – Російський ГРІД для інтенсивних операцій з даними (*Russian Data Intensive GRID, RDIG*). З введенням в дію оптоволоконного каналу зв'язку П'ятихатки-Харків-Київ (ННЦ ХФТІ розташований в науковому передмісті Харкова на відстані 15 км від міста) *Grid*-вузол ХФТІ планувалося підключити до *Grid*-структури НАН України [11].

У тому ж 2002 році Президент Національної академії наук України академік Б.Є. Патон відвідав *CERN*, де до цього часу *Grid*-технології вже активно розвивалися. У *CERN* створювалася *Grid*-мережа, оскільки було усвідомлено, що використання *Grid*-технологій – це єдиний практичний спосіб обробляти і аналізувати безпрецедентний обсяг експериментальних даних (близько 10 Петабайт в рік в умовах одного з експериментів [17, с. 20]), які

будуть проводитися в експериментах на найбільшому в світі прискорювачі *LHC*. В результаті переговорів про участь України в наукових програмах *CERN* було прийнято рішення, підкріплене пізніше Постановою Президії НАН України, про співпрацю з *CERN* у розвитку *Grid*-технологій [12, с. 106].

Наступний етап розпочався в кінці 2004 року, коли група фізиків-теоретиків з Інституту теоретичної фізики (ІТФ) ім. М.М. Боголюбова НАН України (професор Зінов'єв Г.М., провідний науковий співробітник Мартинов Є.С., старші наукові співробітники Свистунов С.Я. і Шадур В.Н.) у процесі проведення аналізу перспективи фізики високих енергій в ІТФ та Україні дійшла висновку, що крім суто теоретичних досліджень в галузі фізики, необхідно брати активну участь в комп'ютерному забезпеченні майбутніх експериментів в *CERN* [13]. Такий напрям співпраці з європейськими партнерами дозволив би мати безпосередній доступ до найновіших даних, які потрібним фізикам-теоретикам для порівняння теоретичних викладок, фізичних моделей з експериментальними даними. Крім того, участь у подібних дослідженнях могла б допомогти українським фізикам «бути в центрі подій» у контексті останніх досліджень атомного ядра, що проводяться в *CERN*, завдяки можливостям, які можуть бути забезпечені *Grid*-технологіями. При цьому бралися до уваги тенденції розвитку *Grid*-технологій в світі, бурхливе проникнення *Grid* в біологію, медицину, бізнес, промисловість [14, с. 68], [15, с. 31]. Директор ІТФ академік А.Г. Загородній підтримав ідею використання *Grid* в інституті – були виділені кошти на купівлю сервера. Але інститут в той час не мав швидкісного каналу зв'язку, тому експериментальний *Grid*-вузол з двох серверів був створений у 2004 році в Обчислювальному центрі Київського національного університету імені Тараса Шевченка (ОЦ КНУ) зусиллями С.Я. Свистунова і співробітника ОЦ КНУ А.А. Судакова. Завдяки співпраці ІТФ з колаборацією *ALICE* (*A Large Ion Collider Experiment* – одна з шести експериментальних установок, споруджених на *LHC* в *CERN*), *Grid*-вузол одержав сертифікат від *AliEn-grid* (*Alice-Environment – Grid*-організація, що обслуговувала експеримент *ALICE* в *CERN*) [16].

Таким чином, ініціативною групою щодо приєднання до участі в експериментальній роботі на *LHC* в *CERN* була усвідомлена важлива обставина, що *Grid*-технології – це не лише розв’язання проблем фізики високих енергій, а й новий, надзвичайно перспективний підхід до багатьох фундаментальних наукових і практичних завдань, для вирішення яких потрібні великі обчислювальні ресурси; це також нові можливості організації наукових досліджень не тільки в масштабах окремо взятої країни, а й підвищення ефективності міжнародного співробітництва в різних сферах людської діяльності. Саме тому ініціатори долучення до роботи в *CERN* наголошували, що їхня мета – створення в Україні *Grid*-інфраструктури, яку будуть використовувати і вчені НАН України, і фахівці з інших організацій, де виконуються роботи, пов’язані з великими комп’ютерними ресурсами [17, с. 25].

У червні 2005 року в ІТФ відбулося засідання Координаційної Ради з інформатики НАН України, на якому проект обговорювався і був схвалений [13]. Саме Академік НАН України І.Р. Юхновський, будучи в той час фактичним головою Комітету Верховної Ради з освіти і науки, ініціював фінансування першого *Grid*-проекту, який розробили в ІТФ. Він був одним з перших, хто зрозумів необхідність якнайшвидшого впровадження *Grid*-технологій в повсякденне життя наукових установ. Почалася практична робота з його втілення – в кінці 2005 р. в ІТФ був побудований кластер з 10 двопроцесорних серверів. Як і в будь-якій обчислювальній *Grid*-інфраструктурі, необхідно було встановити так зване проміжне програмне забезпечення (ППЗ), яке інтегрує всі обчислювальні ресурси й організовує їхню узгоджену роботу (*middleware*). Творці сегмента вибрали пакет *Nordugrid ARC* (*Advanced Resource Connector*), розроблений у колаборації північних європейських країн *NorduGrid* [18]. Це було найпростіше ППЗ, яке, за переконанням виконавців з ІТФ, підтримувало всі необхідні функції для роботи *Grid*-інфраструктури, працювало дуже стабільно і, нарешті, супроводжувалося (і супроводжується) найбільш повною і зрозумілою документацією [15, с. 31]. У



режимі прямого доступу і діалогу спільно з фахівцями *CERN Grid*-система була побудована і налаштована на роботу в інфраструктурі *AliEn-grid*. Проте слабкість каналу зв'язку не дозволила розпочати нормальну роботу створеного *Grid*-вузла. У 2005 році в рамках програми інформатизації НАН України було створено оптоволоконну мережу (з топологією – зірка, за якою всі опорні вузли мережі були безпосередньо підключені до центрального вузла на швидкості 1 Гбіт/с) Київського фрагменту телекомунікаційної інфраструктури НАН України [19]. Створення оптоволоконної лінії до ІТФ забезпечило підключення у 2005 році *Grid*-вузла цієї установи шляхом з'єднання через оптичну муфту волоконно-оптичного кабелю до опорного вузла Київського фрагмента телекомунікаційної інфраструктури НАН України в Інституті програмних систем НАН України.

До квітня 2006 року була розроблена Концепція розвитку *Grid*-інфраструктури НАН України. 25 квітня 2006 року розпорядженням Президії НАН України була затверджена програма «Впровадження грід-технологій і побудови кластерів в НАН України», створена координаційна рада програми [20]. Базовим інститутом, відповідальним за виконання програми, був призначений ІТФ.

Програмою впровадження *Grid*-технологій та створення кластерів НАН України передбачено три етапи розвитку *Grid*-технологій в НАН України. Головним завданням першого етапу було оформлення офіційного статусу НАН України в *WLCG* (*Worldwide LHC Computing Grid* – глобальна обчислювальна структура, яка об'єднувала наукові інститути, що брали участь в експериментальній роботі на *LHC в CERN*). 25 квітня 2006 року НАН України на засіданні керівного комітету організації *WLCG* була офіційно прийнята в члени цієї організації, покликаної координувати комп'ютерну підтримку всіх експериментів на *LHC*. Перший Віце-президент НАН України А.П. Шпак, який став представником НАН України в *WLCG*, в липні 2006 р. підписав Меморандум про взаєморозуміння між НАН України та *WLCG* [21].

Метою другого етапу виконання Програми було визначено створення

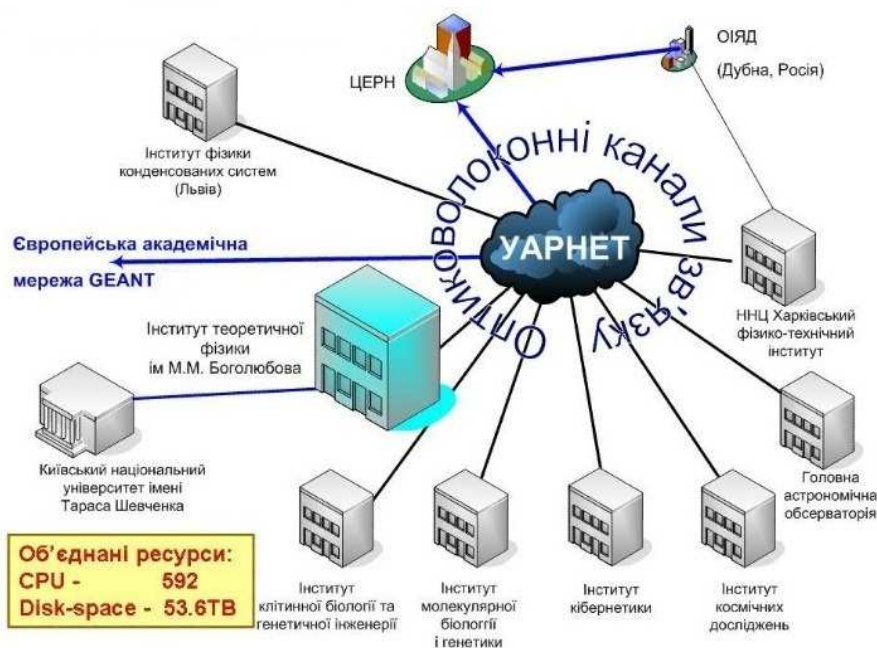


Рис. 1. Грід-сегмент НАН України у 2007 році (слайд А.Загороднього [10])

першого в НАН України і загалом в Україні *Grid*-сегменту, який би об'єднував (рис. 1): академічні інститути (Інститут молекулярної біології і генетики (ІМБГ), Інститут клітинної біології

та генетичної інженерії (ІКБГІ), Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова (ІК), Інститут космічних досліджень (ІКД), Львівський Інститут фізики конденсованих систем (ІФКС), ІТФ та ІНЦ ХФТІ), Головну астрономічну обсерваторію (ГАО) і Київський національний університет ім. Тараса Шевченка (КНУ). В кінці 2006 р. обчислювальні кластери було побудовано і частково модернізовано. Всі основні елементи роботи в *Grid*-сегменті – авторизація, керування задачами, моніторинг системи та інші процедури – було відпрацьовано на *Grid*-лінії між ІТФ і КНУ. У вересні 2006 року відбулася чергова конференція *EGEE (Enabling Grids for E-scienceE* – проект, направлений на побудову *Grid*-інфраструктури, яка використовувалася в різних наукових дослідженнях в Європі; на той час проект об'єднував 90 учасників з 32 країн і фінансувався Європейським Союзом), де Національний академічний *Grid* (або Українська Академічна *Grid*-ініціатива – *UAGI* [10, с. 6]) було зареєстровано кандидатом до вступу в цю організацію. Таким чином, в кінці 2006 року кластери в перерахованих вище інститутах НАН України були побудовані, а в березні 2007 року в тестовому режимі почав працювати перший в Україні *Grid*-сегмент. Так було створено перший в Україні працюючий сегмент академічної

*Grid*-мережі та суттєво посилено міжнародні зв'язки із світовими *Grid*-організаціями [21].

Виконання третього етапу Програми [20] передбачало побудову *Grid*-кластерів в інститутах та лабораторіях НАН України з подальшим приєднанням цих кластерів до вже існуючої академічної *Grid*-мережі. В жовтні 2007 р. на конференції *EGEE'07* в Будапешті було офіційно заявлено, що Україна стала асоційованим членом *EGEE*. На цій же конференції було оголошено, що Україна стала повноправним членом *EGI* (*European Grid Initiative* – грид-організації, що об'єднувала на той час 31 європейську країну і постійно діяла під егідою Європейської комісії). Через два роки *EGI* повністю замінила *EGEE* [21].

Офіційна презентація першого в Україні *Grid*-сегменту відбулась 4-го квітня 2007 року в Інституті теоретичної фізики на виїзному засіданні бюро Президії НАН України. На цьому засіданні відбулося широке обговорення завдань розвитку *Grid*-технологій не тільки в Академії наук. Були обговорені і намічені перспективи співпраці НАН України та Міністерства освіти і науки України (МОН України), зокрема, з Національним технічним університетом України Київський політехнічний інститут (НТУУ КПІ). Досягнута домовленість про створення Національного Гріда України [22] (або Українська національна *Grid*-ініціатива – *Ukrainian National Grid Initiative* – *UNGI* [10]).

Таким чином, на першу половину 2007 року (на момент початку спільної діяльності закладів МОН України та установ НАН України щодо створення проекту *UNGI*) в системі НАН України був створений і успішно розпочав функціонування *Grid*-сегмент, до якого були включені кластери 8-ми установ НАН України та кластер КНУ. Разом з обробкою даних експериментів на *LHC* в *CERN* (ІТФ, ННЦ ХФТІ, КНУ) виконувалися ціла серія різних додатків (наприклад: моделювання просторової структури та поведінки біологічних макромолекул – ІКБГІ, дослідження спектрів зірок та суб-зіркових об'єктів – ГАО, моделювання білків та розрахунки молекулярної динаміки ряду білків, що можуть бути мішенями для розробки лікарських препаратів – ІМБГ) [14, с. 80–

81]. А вже в умовах співробітництва з МОН України щодо створення проекту UNGI відповідно до розпорядження Президії НАН України від 27.03.2008 р. № 172 в рамках «Програми впровадження *GRID*-технологій та створення кластерів на 2008 рік» був створений *Grid*-вузол в Інституті програмних систем НАН України (ІПС) та відбулося розширення *Grid*-сегменту НАН України до 16 обчислювальних кластерів [21, с. 18].

Друга лінія еволюції *Grid*-структур в українській вищій освіті та науці пов'язана з діяльністю вищих навчальних закладів, що належали до системи МОН України. Вперше про створення проекту національної *Grid*-структури в Україні було заявлено в доповіді ректора НТУУ КПІ М.З. Згуровського на всесвітньому саміті в Тунісі з питань формування інформаційного суспільства у 2004 році в контексті необхідності створення освітнього та дослідницького сегменту інформаційного суспільства нашої держави з двома головними напрямками: широким використанням інформаційних технологій на всіх стадіях наукових досліджень та інформаційним управлінням відповідними галузями [22, с. 10]. Запропоновані в доповіді ідеї знайшли своє відображення у 2005 році в ініційованій МОН України Державній програмі «Інформаційні та комунікаційні технології в освіті і науці на період 2006–2010 роки», в якій містилося завдання щодо створення національної *Grid*-інфраструктури [23]. В рамках цієї Програми у 2007 році МОН України було оголошено конкурс проектів, спрямованих на виконання цього завдання. Але НАН України, вже маючи свою корпоративну програму *UAGI*, в 2007 році не брала участі в тендері проектів, оголошеному за Програмою [23]. Тоді група з 10-ти організацій, що представляли два академічні інститути НАН України, шість провідних вузів МОН України і два промислові підприємства (перелік організацій дивіться нижче), взяла на себе відповідальність і буквально за кілька годин до закриття тендеру МОН України представила свій проект *UGrid* (*Ukrainian Grid-infrastructure*) [22, с. 10-11]. У середині 2007 року на базі Національної науково-освітньої мережі УРАН почав діяти саме названий проект-переможець цього конкурсу – «Створення національної *Grid*-

інфраструктури для забезпечення наукових досліджень», в якому провідна роль належала Інституту Програмного Системного Аналізу (ІПСА) НТУУ КПІ (крім підпорядкування НТУУ КПІ, інститут підпорядковувався і НАН України). Проект *UGrid* мав за мету побудову сегменту МОН України національної *Grid*-інфраструктури з відповідними послугами для надання можливості вітчизняним науковцям плідно співпрацювати в Європейському науковому просторі (*European Research Area, ERA*) і сприяти створенню економіки інформаційного суспільства, заснованої на знаннях, шляхом впровадження наукових концепцій *Grid* і найбільш вагомих наукових додатків, які використовуються в *Grid*-середовищі [24]. Проект *UGrid* виконувався тимчасовим науковим колективом, до складу якого увійшли, крім ІПСА НТУУ КПІ, представники таких вітчизняних організацій: НТУУ КПІ, Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова НАН України (ІПМЕ), Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ), Львівський національний технічний університет «Львівська політехніка» (НУЛП), Запорізький національний технічний університет (ЗНТУ), Донецький національний політехнічний інститут (ДонНПІ), Дніпропетровський національний гірничий університет (ДНГУ), Підприємство ЮСТАР, Державне підприємство «Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут» (ЛНДРІ). Проект виконувався з травня 2007 року по грудень 2008 року, здійснювався за чітким календарним планом роботи, що складався з 4-х етапів (детально зі змістом етапів виконання проекту можна ознайомитися в [24], або в [22, с. 11–13]). Серед основних результатів виконання проекту [24], назовмо такі найвагоміші: 1) була досягнута домовленість з НАН України та здійснене об'єднання існуючих сегментів наукової і освітньої обчислювальної і комунікаційної інфраструктури НАН України і МОН України в єдину Українську Національну *Grid*-ініціативу (*UNGI*); 2) в січні 2008 року за підтримки *EUGridPMA* (система Європейської *Grid*-аутентифікації) розпочав діяльність Сертифікаційний центр відкритих ключів для надання українським користувачам доступу до європейських ресурсів і сховищ даних ([www.ca.ugrid.org](http://www.ca.ugrid.org)); 3) розроблений портал доступу

*SDGrid* ([www.sdgrid.org.ua](http://www.sdgrid.org.ua)) до *Grid*-інфраструктури як єдиної точки доступу користувачів до різних інформаційних ресурсів і програм; 4) була досліджена методологія використання *Grid*-технологій у вищій школі і створена експериментальна навчальна програма з *Grid*-курсом; розпочата магістерська підготовка за напрямом «*Grid*-технології в науці та освіті»; 5) на базі розробленого порталу *SDGrid* була створена віртуальна навчальна *Grid*-система, за допомогою якої можна було отримати перший досвід роботи в *Grid*-середовищі, та віртуальна лабораторія для демонстрації можливостей технологій *Grid*; 6) *Grid*-сегмент МОН України (на відміну від *Grid*-сегменту НАН України, який є *Grid* обчислювального типу – *Computing Grid*), був побудований як *Grid* інформаційного типу (*Data Grid*), так як проект *UGrid* головним чином був пов'язаний із забезпеченням обслуговування Української філії Світового Центру Даних (УСЦД) «Сталий розвиток та геофізика» і надавав його клієнтам віддалений доступ до світових сховищ наукових даних [22, с. 16]. Усі організації – учасники проекту (крім основних обов'язків з організації ресурсно-операційних центрів, забезпечення їх функціонування, підготовки і підтримки користувачів), проводили наукові дослідження в галузі сумісності проміжного програмного шару різних *Grid*-інфраструктур; забезпечення наскрізної інформаційної безпеки при об'єднанні національних *Grid*-інфраструктур або їх сегментів, розробки додаткових сервісів для розширення кола можливих користувачів (окрім науки) з представників різних верств суспільства: інженерії, бізнесу, соціальної сфери (детальніше про дослідження, що проводилися кожним з учасників проекту, можна подивитися в [24]).

У подальшому (починаючи з 2009 року) планувався та здійснювався спільний розвиток проектів *UAGI* (НАН України) та *UGrid* (МОН України) в межах єдиного проекту *UNGI*. У процесі побудови спільної структури були максимально враховані сильні сторони організаторів проекту *UNGI*. Зі сторони НАН України сильними сторонами проекту виступали такі: авторитетне Відділення інформатики, важливі обчислювальні ресурси, практичний досвід

об'єднання високопродуктивних обчислювачів в мережу, досвід проведення досліджень окремими вченими в реальних умовах європейських *Grid*-проектів, багаторічний досвід алгоритмізації різноманітних наукових задач і розробки для них відповідних додатків, починаючи від задач фізики і біології і закінчуючи літературознавством. Зі сторони вузів МОН України та промисловості були враховані такі сильні сторони учасників створення проекту: багаторічний досвід побудови і дослідження розподілених обчислювальних систем, зокрема, системи колективного мережного проектування виробів високих технологій на технологіях *Grid*; досвід участі в європейському проекті *BalticGrid* в якості асоціативного члена; порівняльне випробування програмного забезпечення проміжного шару *Globus*, *NorduGrid* і *gLite*; офіційна угода з *DANTE* (європейський провайдер міжнародної науково-освітньої мережі *GEANT*, що працював на основі партнерства з національними науково-дослідними мережами) про підключення комп'ютерної мережі УРАН до *GEANT*; домовленість з *EUGridPMA* про заснування служби СА в Україні; напрацювання у розв'язанні науково-технічних та інженерних задач; швидко нарощувані обчислювальні ресурси і сучасний досвід кластеробудування (фірма ЮСТАР); практично невичерпний резерв талановитої творчої молоді. Результатом стало об'єднання всіх українських зацікавлених організацій та відомств навколо виконання Державної цільової науково-технічної програми впровадження і застосування *Grid*-технологій на 2009-2013 роки, офіційними замовниками якої були НАН України та МОН України [25]. Метою цієї Програми було створення національної *Grid*-інфраструктури та умов для широкого впровадження *Grid*-технологій, зокрема підвищення пропускної спроможності оптоволоконних каналів зв'язку, розробка спеціалізованого та адаптація існуючого програмного забезпечення, підготовка фахівців з питань впровадження та застосування *Grid*-технологій. Було передбачено державне фінансування виконання Програми у розмірі 300 млн. грн. з розбиттям на роки та за конкретними виконавцями. На виконання Програми було розроблене та затверджене «Положення про Український національний гід» [26], згідно

якого були визначені основні складники *Grid*-інфраструктури України та їх функції: базовий координаційний *Grid*-центр (ІТФ); регіональні координаційні *Grid*-центри; ресурсні центри національного рівня; центри сертифікації з регіональними філіями, центр реєстрації регіональних організацій, центр моніторингу *Grid*-інфраструктури та реєстрації *Grid*-сайтів – ці функції згідно Положення [26] передані базовому координаційному *Grid*-центру; центри віртуальних організацій (була створена віртуальна організація ВО «Інфраструктура» – установчий договір знаходиться на [http://ung.in.ua/upload/user\\_files/doc\\_KKP\\_06\\_2012/Dog\\_Infrastructure.doc](http://ung.in.ua/upload/user_files/doc_KKP_06_2012/Dog_Infrastructure.doc)) та *Grid*-сайти (головний сайт був розміщений на <http://grid.nas.gov.ua/>). Ресурсні центри *Grid*-інфраструктури були розгорнуті в НТУУ КПІ та ІК НАН України.

У 2009 році фінансування за Програмою [25] не проводилося. У 2010 році був проведений конкурс лише по НАН України, в якому взяли участь 70 інститутів академії, 29 проектів з яких стало переможцями. Серед основних результатів [27], що були досягнуті при виконанні проектів у 2010 році, назвемо такі: вдосконалення і розвиток *Grid*-кластеру в ІТФ; підтримка та розвинення T2-центру ННЦ ХФТІ в *Grid*-інфраструктурі експерименту *CMS* всесвітнього *LHC*-гріда (*WLCG*); вдосконалення *Grid*-кластеру інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова; створення засобів підтримки функціонування національної *Grid*-інфраструктури, навчання та тренінгу

системних

адміністраторів (ШСА НТУУ КПІ, детальніше – [28]). У

2011 році керівництво Програмою [25] від МОН





України (разом з НАН України) перейшло до Державного комітету України з питань науки, інновацій та інформатизації, який оголосив конкурс проектів, спрямованих на виконання таких двох завдань: розробка та впровадження *Grid*-технологій в науку, промисловість, фінансову, соціальну та гуманітарну сферу; створення і забезпечення розвитку матеріально-технічної бази національної *Grid*-інфраструктури, забезпечення її інтеграції в європейську і світову *Grid*-інфраструктуру. Основні результати [27] виконання програми [25] у 2011 році були такими: удосконалення та розвиток *Grid*-кластеру Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України; розробка моделі та засобів *Knowledge Grid* у контексті глобального опрацювання наукового знання (ІК НАН України); створення *Grid*-кластера та його застосування для високопродуктивного моделювання процесів в термоядерних реакторах (Інститут електронної фізики НАН України); розробка та створення банку даних «Перспективні матеріали» як складової частини академічного сегменту UNGI (Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України); створення міждисциплінарного комплексу оптимального математичного моделювання в *Grid*-середовищі з автоматичним формуванням і розв'язанням рівнянь відповідних математичних моделей (ІПСА НТУУ КПІ – [28]). Таким чином, на 2011 рік українська *Grid*-структура мала вигляд, зображений на рис. 2. В межах розвитку цієї структури різні наукові та освітні установи України працювали над розв'язанням широкого кола прикладних наукових проблем. Назвемо лише основні з них. В галузі *фізики високих енергій, астрофізики та астрономії* – розвиток *Grid*-віртуальної організації *virgo\_ua* з космології та астрофізики (ІТФ); обробка, збереження і аналіз експериментальних даних експерименту ALICE в CERN на Tier-2-кластері (ІТФ); забезпечення обробки даних з LHC в T2-центрі *Grid*-інфраструктури експерименту CMS (CERN) (ННЦ ХФТІ); адаптація ПЗ для радіоастрономічних досліджень для роботи в *Grid*-середовищі (Радіоастрономічний інститут НАН України); застосування *Grid*-технологій до астрофізичних трудомістких задач (ГАО НАН України); в галузі *біологічних наук та медичних застосувань*:

медична *Grid*-система для популяційних досліджень в галузі кардіології на базі даних електрокардіограм (Інститут проблем математичних машин і систем НАН України), розробка нових високо-паралельних *Grid*-методів моделювання мереж генної регуляції для системного аналізу відповіді печінки на дію інтерферону альфа (ІМБГ НАН України), розробка та впровадження комп'ютерних сервісів для аналізу молекулярної динаміки білків в віртуальній лабораторії *MolDynGrid* та її інтеграція в європейську *Grid*-інфраструктуру (ІМБГ НАН України), розробка і впровадження *Grid*-технологій в дослідження нейросистем (Національний науковий центр з медико-біотехнічних проблем НАН України); в галузі *фізики твердої і м'якої речовини та радіофізики*: вдосконалення програмно-апаратного комплексу для молекулярного моделювання та аналізу нано-систем у *Grid*-середовищі (Інститут фізики НАН України), Впровадження та використання *Grid*-технологій для розрахунків з перших принципів фізичних властивостей сполук на основі металів та моделювання пластичної деформації конструкційних металів і сплавів (Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України), розробка нових методів та програмного комплексу *Grid*-обчислень для задач радіофізики, біофізики та фізики твердого тіла (Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України); в галузі *науково-технічних та інженерно-прикладних проектів*: створення порталу знань, дослідження сумісності проміжного програмного шару, створення *Grid*-орієнтованого програмного забезпечення для моделювання сучасних мікро-електронно-механічних систем (НТУУ КПІ), *Grid*-технології для проведення неруйнівного аналізу фізичних параметрів напівпровідникових структур та приладів нано-, мікро- і оптоелектроніки (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова), створення *Grid*-системи моніторингу, збору та аналізу даних в енергетичній галузі на базі *Grid*-центру з питань енергетики (Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України); в галузі геофізичних, гідрофізичних та гідрометеорологічних проектів: розробка і впровадження *Grid*-технологій для систем підтримки прийняття рішень з оперативного

реагування на надзвичайні ситуації природного та техногенного характеру і планування довгострокових контрзаходів (Інститут проблем математичних машин і систем НАН України), розробка та впровадження розподіленої *Grid*-системи моніторингу надзвичайних ситуацій для регіонального центру підтримки *UNSPIDER* (Інститут космічних досліджень НАН України), впровадження *Grid*-технологій в комп'ютерне моделювання стану прибережних зон Азово-Чорноморського басейну (Морський гідрофізичний інститут НАН України); в галузі *інформаційної безпеки, інтелектуалізації та економіки*: розробка та впровадження віртуального дослідницького середовища в *Grid*-інфраструктурі на засадах системи *gCube* (ІПС НАН України), інтелектуалізація-2011 інформаційних технологій кластерних обчислень у *Grid*-середовищі (ІК НАН України), розробка методів і інструментів інформаційної безпеки *Grid*-технологій на основі міжнародних стандартів (ІК НАН України) (детальніше – [29]).

Таким чином, дослідження історії розвитку розподілених програмно-апаратних комп'ютерних середовищ (*Grid*-структур) закладів вищої освіти та науки України на початку ХХІ століття наводить на такі висновки щодо основних закономірностей цього процесу.

1. Створення науково-освітніх мереж УРАН та АМОД та участь науково-освітніх установ України в міжнародних дослідженнях стали визначними у контексті започаткування перших в Україні *Grid*-сегментів, які забезпечили колективне використання високопродуктивних інформаційних обчислювальних ресурсів, які були розміщені в установах НАН України та МОН України.

2. Дві науково-освітні *Grid*-структури – Національний академічний *Grid* (або Українська Академічна *Grid*-ініціатива – *UAGI*, засновник НАН України) та Український *Grid* (або *Ukrainian Grid-infrastructure* – *UGrid*, засновник МОН України) – були створені протягом першого десятиліття ХХІ століття. Порівняно швидкому створенню цих структур перш за все сприяли колосальний досвід Інституту кібернетики України, накопичений школою геніального українського вченого В.М. Глушкова, та продуктивна ініціатива

КНУ ім. Т. Шевченка, науково-дослідних інститутів НАН України (ІТФ НАН України, ННЦ ХФТІ НАН України, ІК НАН України, Інституту фізики конденсованих систем НАН України, Інституту програмних систем НАН України та інших) і вищих навчальних закладів МОН України (НТУУ КПІ). Досить важливим підсумком самостійного розвитку *UAGI* та *UGrid* стало їх об'єднання в Національний Грід України (або Українська національна *Grid*-ініціатива – *Ukrainian National Grid Initiative – UNGI*). Це дало можливість максимально використати переваги попередніх проектів: тісний зв'язок з *CERN* та участь у його *Grid*-проектах з фізики високих енергій, наявність власної Академічної мережі обміну даними (*UAGI*); потужна інформаційна система у вигляді Української філії Світового центру даних, наявність науково-освітньої мережі УРАН (*UGrid*). Що і посприяло досить швидкому розвитку інфраструктури *UNGI* в межах виконання цільових державних програм розвитку *Grid*.

3. *Grid*-інфраструктура України стала національною, так як за вимогами європейських інститутів задовольняла таким критеріям: а) вона мала державну підтримку (проект *Grid*-інфраструктури був включений до державної програми [25] з гарантованим фінансуванням); б) *Grid*-інфраструктура представляла інтереси всіх верств суспільства (вчених, вузівських працівників, промисловців, комерсантів та ін.); в) *Grid*-інфраструктура мала розгалужену структуру з координуючих, регіональних і ресурсних центрів, що забезпечували функціонування базових *Grid*-сервісів, моніторинг та реагування на надзвичайні ситуації, ведення обліку ресурсів і виконаних робіт, управління і підтримку віртуальних організацій, сертифікацію *Grid*-ПЗ [26]; *Grid*-інфраструктура базувалася на дотриманні міжнародних стандартів і правил, підтримувала безпеку, мала право генерувати сертифікати користувачів СА з відома *EUGridPMA* [22]; *Grid*-інфраструктура мала бути підключена до однієї з міжнародних науково-освітніх комп'ютерних мереж (існувало підключення до *GEANT* – Європейської науково-освітньої мережі); *Grid*-інфраструктура мала

органи управління у вигляді Ради з розвитку національних розподілених програмно-апаратних комп'ютерних середовищ [26].

4. На базі побудованої *Grid*-інфраструктури зроблено продуктивні кроки щодо її використання для організації прикладних наукових досліджень в умовах розподіленої співпраці вчених за допомогою *Grid*-технологій і віртуалізації величезних сховищ даних, наукового обладнання та комп'ютерних ресурсів [29].

### **Список використаної літератури**

1. *Хоменко Л. Г.* История отечественной кибернетики и информатики : монография. / Л. Г. Хоменко – К. : Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, 1998. – 455 с.
2. *Сергієнко І. В.* Становлення і розвиток досліджень з інформатики / І. В. Сергієнко – К. : Наук. думка, 1998. – 204 с.
3. *Малиновский Б. Н.* История вычислительной техники в лицах / Б. Н. Малиновский. – К. : Фирма «Кит» : ПТОО А.С.К., 1995. – 384 с.
4. *Онопрієнко В. І.* Інформатика в Україні : історія, наукові школи, сучасні проблеми / В. І. Онопрієнко, В. П. Соловійов, М. В. Онопрієнко // Наука та наукознавство. – 2004. – № 4. – С. 148–150.
5. *Онопрієнко М. В.* Інформатизація в контексті філософсько-методологічного дослідження інформатики / М. В. Онопрієнко – К. : Софія–Оранта, 2007. – 212 с.
6. *Глушков В. М.* Кибернетика : краткий ист. очерк развития кибернетики в АН УССР [Электронный ресурс] / В. М. Глушков. – Режим доступа: <http://www.icyb.kiev.ua/file/Краткий исторический очерк1977>
7. *Лучук А. М.* Устройства передачи дискретной информации / А. М. Лучук. – К. : Техніка, 1978. – 260 с.
8. *Gerovitch S.* InterNyet : Why the Soviet Union Did Not Build a Nationwide Computer Network / S.Gerovitch // History and Technology. – 2008. – Vol. 24. – P. 335–350.
9. *Foster I.* The Grid : Blueprint for a New Computing Infrastructure / Ian Foster and Carl Kesselman. – San Francisco : Morgan Kaufmann Publishers. – 1998. – 286 p.
10. *Петренко А. І.* Національна *Grid*-інфраструктура для забезпечення наукових досліджень і освіти / А. І. Петренко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2008. – № 1. – С. 79–92.
11. *Історія* Національного наукового центру Харківський фізико-технічний інститут [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.kipt.kharkov.ua/ru/bhr.html>
12. *Загородній А. Г.* Б. Є. Патон і розвиток міжнародних наукових зв'язків / А. Г. Загородній // Вісн. НАН України. – 2012. – № 2. – С. 99–108.

13. *Інститут* теоретичної фізики імені М.М.Боголюбова НАН України [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.bitp.kiev.ua/about.html>
14. *Бойко Ю. В.* Український академічний Grid: досвід створення і перші результати експлуатації / Ю. Б. Бойко, М. Г. Зінов'єв, С. Я. Свістунов, О. О. Судаков // Математичні машини і системи. – 2008. – № 1. – С. 67–84.
15. *Мартинов Є.* Український національний Grid – учасник міжнародного об'єднання *NorduGrid* / Є. Мартинов, О. Смірнова // Вісн. НАН України. – 2011. – № 12. – С. 30–35.
16. *Мартинов Є.* То чи є *Grid* в Україні / Є. Мартинов, С. Свістунов // Дзеркало тижня. – 2007. – № 10.
17. *Grid* – нова інформаційно-обчислювальна технологія для науки / А. Загородній, Г. Зінов'єв, Є. Мартинов [та ін.] // Вісн. НАН України. – 2005. – № 6. – С. 17–25.
18. <http://www.nordugrid.org>
19. *Звіт* про виконання робіт за проектами Програми інформатизації НАН України у 2005 році [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://programinform.nas.gov.ua/c/document\\_library/get\\_file?p\\_l\\_id=12548&folderId=10803&name=DLFE-204.doc](http://programinform.nas.gov.ua/c/document_library/get_file?p_l_id=12548&folderId=10803&name=DLFE-204.doc)
20. *Розпорядження* Президії НАН України № 249 від 25.04.2006 року «Про затвердження програми «Упровадження *GRID*-технологій та створення кластерів НАН України» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nas.gov.ua/infrastructures/Legaltexts/nas/2006/Pages/default.aspx>
21. *Звіт* про виконання робіт з розбудови та проведення дослідної експлуатації Академічної мережі обміну даними (АМОД) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://programinform.nas.gov.ua/c/document\\_library/get\\_file?p\\_l\\_id=12548&folderId=11653&name=DLFE-605.doc](http://programinform.nas.gov.ua/c/document_library/get_file?p_l_id=12548&folderId=11653&name=DLFE-605.doc)
22. *Згуровський М. З.* *Grid*-технології для Е-науки і освіти / М. З. Згуровський, А. І. Петренко // Наук. вісті НТУУ «КПІ». – 2009. – № 2. – С. 10–17.
23. *Постанова* Кабінету Міністрів України від 07.12.2005 р. № 1153 «Про затвердження Державної програми «Інформаційні та комунікаційні технології в освіті і науці» на 2006-2010 роки» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1153-2005-%D0%BF>
24. *Проект* № ІТ/506-2007 від 22 серпня 2007 «Створення національної Grid-інфраструктури для забезпечення наукових досліджень» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://grid.kpi.ua/index.php/ru/projects-2005-2010/8-stvorennya-naconalno-grid-nfrastrukturi.html>
25. *Постанова* Кабінету Міністрів України від 23.09.2009 р. № 1020 «Про затвердження «Державної цільової науково-технічної програми впровадження і застосування Grid-технологій на 2009-2013 роки» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1020-2009-%D0%BF>

26. *Положення* про Український національний гід [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://infrastructure.kiev.ua/upload/ung\\_fin.pdf](http://infrastructure.kiev.ua/upload/ung_fin.pdf)
27. *Програма* інформатизації Національної Академії наук України на 2010–2014 роки (результати за проектами 2010 року) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://programinform.nas.gov.ua/40>
28. *Проекти* Державної цільової науково-технічної програми впровадження і застосування Grid-технологій на 2009–2013 роки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://grid.kpi.ua/index.php/ru/projects-2009-2013.html>
29. *Ukrainian National Grid*: Basic Coordination Centre (Grid achieve) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ung.in.ua/achieve/>